

ОТЗЫВ

Отечественного научного консультанта
на диссертационную работу Даутбекова Мерхата Курметовича «Повышение
коррозионной стойкости поверхностей нагрева котлов за счет нанесения
покрытий на основе $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ »,
представляемую на соискание академической степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07103 – «Теплоэнергетика»

1. Актуальность темы исследования и ее связь с общенаучными и общегосударственными программами

На сегодняшний день, большая часть энергетического оборудования ТЭС, в том числе трубы поверхностей нагрева выработали свой проектный и нормативный ресурсы, соответственно остро стоит вопрос предотвращения отказов имеющегося оборудования вследствие накопления его внутренних и внешних повреждений.

В настоящее время актуальной задачей является повышение надежности и долговечности изделий, эксплуатационные характеристики которых определяются свойствами их рабочих поверхностей. Одним из наиболее перспективных способов улучшения эксплуатационных свойств и увеличения долговечности изделий является нанесение на их поверхности функциональных покрытий с использованием различных технологий напыления.

Диссертационная работа соискателя Даутбекова М.К. посвящена повышению энергетической эффективности работы поверхностей нагрева котлоагрегатов, в том числе исследованиям формирования износостойкого покрытия $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$, нанесенного на сталь поверхностей нагрева методом детонационного напыления. Покрытия $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ обладают высокой твердостью и износостойкостью, повышающую износостойкость стали труб поверхностей нагрева. Покрытие $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ наиболее широко используется для снижения износа оборудования при высоких температурах (500-900°C) и в агрессивных средах благодаря своей стойкости к окислению и коррозии. Выбор в качестве объекта исследования указанного покрытия обусловлен двумя факторами: во-первых, при получении покрытия $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ методом детонационного напыления, определено влияние оксидной пленки CrO на окислительно-эрозионные свойства котельных сталей и, во-вторых, при нанесении покрытий возможно регулировать рамеры зерна, которые непосредственно влияют на антикоррозионные свойства металла. Эффективное применение $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ покрытий, полученных детонационным методом напыления, сдерживается отсутствием обоснования и анализа закономерности влияния режимных параметров напыления на физико-механические свойства покрытий. Кроме того, в Казахстане актуальными остаются вопросы проведения экспериментов в рамках стандартов ASTM G-76 и ASTM G211-14 для оценки высокотемпературной эрозии и коррозии котельных труб.

Таким образом, разработка научно-технологических основ технологии детонационного напыления покрытий, в том числе градиентных покрытий, на поверхности котельной стали и проведение экспериментов в рамках стандартов

ASTM G-76 и ASTM G211-14 являются актуальными и в этом направлении требуются дополнительные исследования.

2. Научные результаты и их обоснованность

Обоснованность и достоверность полученных автором результатов базируется на использовании современного аналитического оборудования исследовательских центров мирового уровня, включая сканирующую электронную микроскопию (SEM3200), рентгенофазовый анализ (X'PertPRO) и инструментальное индентирование (FISCHERSCOPE HM2000). Испытания которые проводились согласно нормам ГОСТ (34388-2018, 1497-84) и международным стандартам ASTM (G76-04, G211-14). Оценка эксплуатационных свойств проводилась не только в лаборатории, но и в реальных условиях. Образцы прошли длительные испытания (4320 часов) непосредственно в действующем котле БКЗ-320-140 Усть-Каменогорской ТЭЦ при температуре порядка 970 °С. Основные технологические решения защищены патентом Республики Казахстан №36690. Результаты работы опубликованы в 7 научных трудах, включая журналы из базы Scopus, и внедрены в учебный процесс технического университета. Теоретические расчеты, выполненные в программных комплексах SolidWorks и ELCUT, полностью подтверждаются экспериментальными данными и результатами натурных наблюдений. Достоверность результатов обеспечивается использованием современных методов изучения структуры, химического и фазового состава, профиля поверхности, механических и трибологических испытаний, большими объемами и повторяемостью экспериментальных данных. Результаты исследования, проведенные в диссертационной работе, не противоречат известным научным представлениям и результатам.

4. Степень новизны каждого научного результата (положения), вывода соискателя, сформулированных в диссертации.

Степень новизны научных результатов и положений диссертации Даутбекова М. К. характеризуется переходом от качественных оценок к точным количественным обоснованиям и созданием оригинальных технологических решений.

Впервые разработан и экспериментально подтвержден метод управления фазовым составом покрытия за счёт варьирования объёма заполнения ствола детонационной пушки (от 57 % до 73 %) при использовании одного типа порошка (защищенный патентом на изобретение РК №36690) обеспечивает непрерывность процесса и плавный переход свойств от пластичной никромовой матрицы CrNi3) у подложки к твердому карбидному каркасу (Cr3C2) на поверхности.

Разработан лабораторный стенд, интегрирующий требования стандартов ASTM G76-04 и G211-14 для имитации условий радиационно-конвективных участков котла. Стенд позволяет одновременно воспроизводить воздействие экстремальных температур (до 750–900 °С), агрессивных солевых сред (Na_2SO_4) и эрозионного износа частицами золы (Al_2O_3), что максимально приближает лабораторные тесты к реальной топке котла.

Установлена прямая зависимость между энергией детонационного выстрела (через степень заполнения ствола) и направленным фазовым переходом. Доказано, что режим 57 % критически важен для адгезии, а режим 73 % - для износостойкости.

Эффект смещения коррозионного потенциала в область пассивного состояния и подтверждено снижение скорости коррозии до 0,000126 мм/год.

На основе натурных испытаний (4320 часов) впервые показано, что покрытие не просто защищает поверхность, но и на 1,9-2,1 % лучше сохраняет прочностные характеристики самой стали за счёт блокировки диффузии активных частиц вглубь металла.

5. Практическая значимость полученных результатов

Использование градиентных покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ позволяет значительно снизить скорость коррозии и эрозии элементов пароперегревателей, что увеличивает срок их службы и повышает надежность энергетических установок. Полученные результаты открывают перспективы для широкого внедрения таких покрытий в энергетике, особенно при использовании непроэктных и низкосортных углей, содержащих агрессивные примеси.

6. Соответствие содержания диссертации в рамках требований «Правила присуждения ученых степеней»

Несмотря на указанные замечания, результаты и выводы диссертационной работы Даутбекова Мерхата Курметовича значимы в научном, теоретическом и прикладном планах. По объему и содержанию диссертация отвечает требованиям «Правил присуждения ученых степеней» Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК и соответствует паспорту специальности.

Считаю, что диссертационная работа «Повышение коррозионной стойкости поверхностей нагрева котлов за счет нанесения покрытий на основе $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ », является законченной научно-исследовательской работой, выполнена на современном научном уровне, обладает новизной и научно-практической значимостью, соответствует специальности 8D07103 - Теплоэнергетика, а его автор Даутбеков Мерхат Курметович заслуживает присуждения ученой степени доктора философии PhD.

**Отечественный научный консультант
PhD, ассоциированный профессор НАО
«ВКУ имени С.Аманжолова»**



Л.Г. Сулюбаева